

УДК 621.313

МИНИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ ГЕНЕРАТОРОВ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ОБЪЕКТОВ С ШИРОКИМ ИНТЕРВАЛОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Недзельский О.С., Петков А.А. канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Наведено аналіз впливу розкиду параметрів навантаження на амплітудно-часові параметри імпульсу струму. Сформульовано задачу оптимізації генератора імпульсів струму при забезпеченні заданих параметрів формованого імпульсу струму за рахунок введення в розрядне коло формуючого резистора.

Приведен анализ влияния разброса параметров нагрузки на амплитудно-временные параметры импульса тока. Сформулирована задача оптимизации генератора импульсов тока при обеспечении заданных параметров формируемого импульса тока за счет введения в разрядную цепь формирующего резистора.

The analysis of influence of loading parameters disorder on time-amplitude parameters of a current pulse is resulted. The problem of optimization of the current pulses generator is formulated at maintenance of the formed current pulse set parameters of a due to introduction in a digit circuit forming resistor.

Генераторы импульсов тока (ГИТ) и напряжения (ГИН) используются в современной технике как испытательное оборудование, осуществляющее импульсное однократное или многократное воздействие на объект испытаний с целью установления или подтверждения определенных его качеств. При этом амплитудно-временные параметры воздействия, как правило, регламентированы нормативными документами. Допустимый разброс этих параметров – несколько процентов.

Схемное решение разрядных цепей (РЦ) большого класса генераторов представляет собой цепи, содержащие линейные элементы (конденсаторы - C , индуктивности - L и резисторы - R) и нелинейные элементы (коммутаторы и разрядники). Испытываемый объект включается

в разрядную цепь генератора и может быть в большинстве случаев представим как активно-индуктивный элемент.

При необходимости проведения испытаний значительного количества однотипных объектов неизбежен разброс амплитудно-временных параметров импульса тока (ИТ), вызванный технологическим разбросом эквивалентных величин R и L испытываемых объектов. Этот разброс может привести к недопустимому отклонению амплитудно-временных параметров импульса от нормируемых.

Пусть имеется ГИТ, эквивалентная схема которого представляет собой последовательный RLC – контур. Пусть также имеется нагрузка, проявляющая свойства активного сопротивления. Тогда длительность фронта, длительность импульса тока и его максимальное значение определяются из соотношений [1]:

$$T_{\Phi} = K_1 \cdot L / R; T_{И} = K_2 \cdot R \cdot C; I_m = K_3 \cdot U / R, \quad (1)$$

где K_1, K_2 и K_3 коэффициенты, зависящие от отношения $R/\sqrt{L/C}$;
 R, L, C, U – эквивалентные параметры и зарядное напряжение ГИТ.

Учитывая статистический характер величин элементов РЦ ГИТ, значения выходных параметров не равны в точности вычисленным по (1), а имеют разброс в некотором интервале. Границы интервалов изменения параметров импульса тока определяются из соотношений:

$$T_{\Phi} = M[T_{\Phi}] \pm 3\sqrt{D[T_{\Phi}]}, T_{И} = M[T_{И}] \pm 3\sqrt{D[T_{И}]}, I_m = M[I_m] \pm 3\sqrt{D[I_m]}. \quad (2)$$

где знак "+" соответствует верхней границе интервала, "-" – нижней;

$M[\cdot]$, $D[\cdot]$ – математическое ожидание и дисперсия выходных параметров ИТ, вычисление которых может быть выполнено по соотношениям, приведенным в [2]:

$$M[T_{\Phi}] = K_1 \cdot M[L] \{1 + V[R]^2\} / M[R] \quad (3)$$

$$M[T_{И}] = K_2 \cdot M[R] \cdot M[C], \quad (4)$$

$$M[I_m] = K_3 \cdot M[U] \{1 + V[R]^2\} / M[R], \quad (5)$$

$$D[T_{\Phi}] = K_1^2 \cdot M[L]^2 \{V[R]^2 + V[L]^2 + 2V[R]^4 + V[R]^2 \cdot V[L]^2\} / M[R]^2, \quad (6)$$

$$D[T_{И}] = K_2^2 \cdot M[R]^2 \cdot M[C]^2 \{V[R]^2 + V[C]^2 + V[R]^2 \cdot V[C]^2\}, \quad (7)$$

$$D[I_m] = K_3^2 \cdot M[U]^2 \{ V[R]^2 + V[U]^2 + 2V[R]^4 + V[R]^2 \cdot V[U]^2 \} / M[R]^2, (8)$$

где $V[\cdot] = \sqrt{D[\cdot]} / M[\cdot]$ - коэффициент вариации соответствующих параметров.

Как видно из (2), границы интервалов выходных параметров ИТ, при прочих равных условиях, определяются величиной их дисперсий, которые в свою очередь пропорциональны $V[R]^2$ и $V[R]^4$ (6 - 8).

Если границы интервалов выходят за допустимые значения, то в разрядную цепь вводят формирующий резистор R_Φ , обеспечивающий уменьшение коэффициента вариации сопротивления РЦ в целом, что, в конечном итоге, позволяет уменьшить дисперсию выходных параметров ИТ. В этом случае, для сохранения выходных параметров ИТ, в РЦ должны, в соответствии с (1), быть изменены параметры: L и U – увеличены, а C – уменьшена, что, в конечном итоге, приводит к увеличению запасаемой энергии ГИТ. Таким образом, введение R_Φ с одной стороны позволяет уменьшить диапазон разброса выходных параметров ИТ, а с другой – приводит к увеличению запасаемой энергии ГИТ, которая принимает свое минимальное значение при R_Φ , обеспечивающем требуемый интервал изменения выходных параметров.

Пусть $\delta_M = M[R_\Phi] / M[R_H]$ и $\delta_D = D[R_\Phi] / D[R_H]$, тогда

$$V[R]^2 = V[R_H]^2 \cdot (1 + \delta_D) / (1 + \delta_M)^2 \quad (9)$$

Как видно из (9) коэффициент вариации сопротивления является функцией двух независимых переменных, одна из которых δ_M определяет запасаемую энергию ГИТ, необходимую для формирования требуемого ИТ в нагрузке.

Исходя из этого, может быть поставлена следующая задача:

Требуется минимизировать энергию ГИТ,

$$\min(CU^2 / 2),$$

формирующего в заданной нагрузке $M[R_H]$, $D[R_H]$ требуемый импульс тока при следующих ограничениях:

$$\text{- на форму импульса: } T_0 \in (T_0', T_0''), T_E \in (T_E', T_E''), I_m \in (I_m', I_m'');$$

- на структуру РЦ: $R = R_H + R_\Phi$,

где T'_0, T''_0 - соответственно нижняя и верхняя границы допустимого интервала изменения длительности фронта ИТ;

T'_E, T''_E - соответственно нижняя и верхняя границы допустимого интервала изменения длительности ИТ;

I'_m, I''_m соответственно нижняя и верхняя границы допустимого интервала изменения максимального значения ИТ.

Решение поставленной задачи может быть проведено известными методами [3].

Особенно актуальна проблема повторяемости импульсов воздействия при испытании объектов с нелинейными вольтамперными и вольт-секундными характеристиками, например, варисторов [4] при серийном испытании элементов ограничителей напряжения.

Для компенсации нелинейности и разброса вольтамперных характеристик, который даже у ведущих производителей, например, EPCOS, составляет 20-30%, целесообразно увеличение активного сопротивления контура разряда путем включения линейного резистора R_Φ последовательно с сопротивлением нагрузки R_H испытываемого объекта. В этом случае при расчете дисперсии величины активного сопротивления нагрузки должен учитываться как его технологический разброс, так и эффект нелинейного его изменения в процессе формирования импульса тока. Исследования в этом направлении до настоящего времени не проводились, хотя актуальность их очевидна.

Выводы.

1. В работе проанализировано влияние технологического разброса активного сопротивления нагрузки на параметры импульса тока.

2. Сформулирована задача оптимизации разрядной цепи генератора импульсов тока, решение которой обеспечивает выполнение требований к испытательному импульсу тока.

3. Указано направление исследований для совершенствования установок для испытаний варисторов.

Литература

1. Петков А.А. Расчет параметрической надежности генератора импульсов тока // Электротехника. - 1993. - №5. - С. 69 - 71.

2. Петков А.А. Усовершенствование разрядных цепей генераторов больших импульсных токов с учетом критериев их надежности: Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.13. - Харьков, 2004. - 205 с.

3. Банди Б. Методы оптимизации. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
4. ГОСТ 16357-83. Разрядники вентильные переменного тока на номинальные напряжения от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1983. – 40 с.